

ГИБРИДНЫЙ ИСТОЧНИК СВЕТА СПЕКТРАЛЬНО БЛИЗКИЙ К СТАНДАРТНЫМ ОСВЕТИТЕЛЯМ СЕРИИ «D»

Арапова С.П., Арапов С.Ю., Ведрук Д.В., Тимофеев А.Н.

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина,
пр. Мира, 32, Екатеринбург, Свердловская обл., 620002, Россия,
тел.: (343) 375-46-30, e-mail: arapova66@yandex.ru

Аннотация — представлено описание разработанного мультиспектрального гибридного источника освещения со спектром близким к стандартному осветителю МКО серии D. Излучателями источника являются галогенные лампы с интерференционными фильтрами и светодиоды. Источник имеет возможность управления значением коррелированной цветовой температуры. Разработка пригодна как для лабораторных исследований, так и для визуального контроля цвета образцов промышленной продукции.

HYBRID LIGHT SOURCE WITH SPECTRA CLOSE OF SERIES «D» STANDARD ILLUMINANT¹

Arapova S.P., Arapov S.Yu., Vedruk D.V. Timofeev A.N.

Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin
pr. Mira, 32, Yekaterinburg, Sverdlovsk region, 620002, Russian Federation
ph.: (343) 375-46-30, e-mail: arapova66@yandex.ru

Abstract — description of the developed hybrid multispectral light source with a spectrum close to the CIE standard illuminant series D represents. The emitters of the source is a halogen lamp with interference filters and LEDs. The source has the ability to control the value of correlated color temperature. The design is suitable for laboratory research and for visual inspection of color samples of industrial products.

I. Введение

Визуальный контроль цвета с использованием специализированных источников света (ИС) будет незаменим в промышленности всегда, даже несмотря на прогресс в области разработки аппаратных средств контроля поверхностей. Основной парк контрольно-измерительного оборудования состоит из различных спектрофотометров, которые позволяют определять спектральный коэффициент отражения и спектральный состав освещения, для последующего расчёта координат цвета в какой-либо из систем. К сожалению точность измерений не всегда удовлетворительна. Геометрия измерений у приборов фиксирована и обычно не соответствует реальной геометрии наблюдения. Наконец, вся стандартная колориметрия построена для описания восприятия изолированных стимулов и не может точно прогнозировать воспринимаемый цвет элемента изображения в окружении других стимулов.

Для визуального контроля в различных сферах деятельности приняты разные ИС. В полиграфии для просмотра и сравнения оттисков принят стандартный ИС D50 Международной комиссии по освещению (МКО), в лакокрасочной промышленности — D65, в фотографии — D55. Потому наибольший интерес представляют перестраиваемые ИС.

Вопросы разработки спектрально перестраиваемых ИС на основе светоизлучающих диодов (СИД) и систем управления для них рассмотрены в работах [1–4]. В работах [5, 6] рассмотрены гибридные решения на основе галогенной лампы накаливания с интерференционным фильтром (ГЛНИФ). Речь идёт в основном о лабораторных или перспективных системах. В тоже время условия производства предъявляют свои требования, в первую очередь — простота, надёжность и способность создавать высокие значения

освещённости (500–2000 лк) на большой площади (0,5–1,0 м²).

Таким образом целью данной работы является разработка экспериментального прототипа гибридного источника света (ГИС), ориентированного на промышленное применение.

II. Компоненты ГИС и метод управления

В работе [6] рассматривается ГИС, составленный из разнородных излучающих компонентов (ИК). Особенностью набора ИК является наличие ГЛНИФ, которая работает в перекальном режиме с отбором только центральной части светового потока. Такое решение не рационально для промышленного ИС и требует пересмотра. Спектры ИК в обновлённой конструкции приведены на рис. 1.

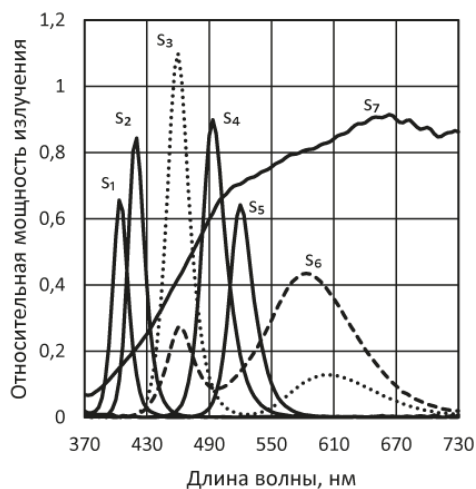


Рис. 1. Спектры ИК ГИС:

$s_1, s_2, s_3, s_4, s_5, s_6$, — спектры СИД, s_7 — спектр ГЛНИФ

Спектр ГЛНИФ существенно отличается от приведённого в [6], поскольку в данном случае

используется весь световой поток. Питающее напряжение сохраняется на штатном уровне (12 В).

Управление яркостями СИД осуществляется (по аналогии с [6]) широтно-импульсной модуляцией питания (ШИМ). Цель управления — наилучшее приближение по форме к спектру s_D стандартного источника серии D при заданной $T_{кц}$.

Выделяется расширенное подпространство спектров источника:

$$s^* = S a^*, \quad (1)$$

где s^* — некоторый произвольный спектр в рабочей зоне, $S = [s_1 \ s_2 \ s_3 \ s_4 \ s_5 \ s_6 \ s_7]$ — матрица, составленная из столбцов спектров ИК, $a^* = [a_1^* \ a_2^* \ a_3^* \ a_4^* \ a_5^* \ a_6^* \ a_7^*]^T$ — вектор произвольных нормированных яркостей ИК.

Далее строим ортопроектор R_S в подпространство (1):

$$R_S = S(S^T S)^{-1} S^T = S S^+ \quad (2)$$

где $(...)^+$ — означает операцию псевдообращения Мура-Пенроуза. После этого легко находится наилучшее спектральное приближение s_d^* в расширенном подпространстве ЛИС, и соответствующий вектор яркостей a_d^* :

$$s_d^* = R_S s_D^*, \quad a_d^* = S^+ s_D^*, \quad (3)$$

В конце выполняем масштабирование полученного решения без ущерба для формы спектра. Поскольку седьмой элемент в a_d^* отвечает за яркость нерегулируемой ГЛНИФ, его следует выбрать в качестве делителя остальных элементов. Тогда искомый вектор нормированных яркостей будет выглядеть так:

$$a_d = [a_{d1} \ a_{d2} \ a_{d3} \ a_{d4} \ a_{d5} \ a_{d6} \ 1]^T = \left[\frac{a_{d1}^*}{a_{d7}^*} \ \frac{a_{d2}^*}{a_{d7}^*} \ \frac{a_{d3}^*}{a_{d7}^*} \ \frac{a_{d4}^*}{a_{d7}^*} \ \frac{a_{d5}^*}{a_{d7}^*} \ \frac{a_{d6}^*}{a_{d7}^*} \ 1 \right]^T \quad (4)$$

Мощности СИД в составе ГИС подобраны так, что элементы a_d не превосходят единицу.

III. Полученные результаты

Полученный с помощью выражений (1–4) спектр ГИС представлен на рис. 2. Качество имитации Осветителя D50 оценивалось согласно ISO 3664:2009. Несмотря на незначительные различия в спектральном распределении излучения в точках рабочей зоны ГИС хроматический сдвиг укладывается в значение $\Delta E_{uv} \leq 0,005$ (10° МКО 1964), рекомендованное стандартом. Другие характеристики, позволяющие оценить качество имитации D50 в соответствии со стандартом ISO 3664:2009 также говорят о хорошем результате. Общий индекс цветопередачи $R_a = 96,2$ (по стандарту не менее 90), частные индексы цветопередачи: $R_1 = 97,4$; $R_2 = 96,9$; $R_3 = 95,0$; $R_4 = 96,0$; $R_5 = 97,1$; $R_6 = 95,3$; $R_7 = 95,5$; $R_8 = 96,6$ (по стандарту не менее 80).

Индекс метамеризма в видимой области соответствует категории источника — «С»: $M_{vis} = 0,78$ (по стандарту 0,5–1,0). Индекс метамеризма в ультрафиолетовой области $M_{uv} = 0,26$ (по стандарту не более 0,15). Превышение M_{uv} вызвано недостаточной мощностью излучения в интервале 430–445 нм.

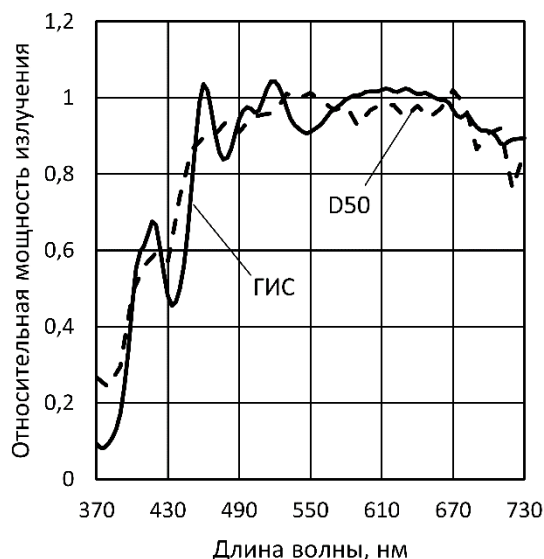


Рис. 2. Наилучшее спектральное приближение к осветителю D50, полученное на базе ИК $s_1 - s_7$.

IV. Заключение

Таким образом в целом оправдалось высказанное в работе [6] предположение о том, что добавление в состав источника «тёплого белого» СИД позволит отказаться от перекального режима работы ГЛНИФ. Этот СИД удачно дополняет спектр ГЛНИФ в широкой зоне 550–670 нм.

Получение высококачественной имитации осветителя D50 в опробованном сочетании ИК было бы невозможно без использования зелёного (520 нм) и голубого (490 нм) СИД.

Превышение индекса метамеризма в ультрафиолетовой области M_{uv} по сравнению с требованиями стандарта ISO 3664:2009 может быть исправлено добавлением СИД в интервале 430–445 нм.

V. Литература

- [1] Аладов А.В. и др. Полихромные спектрально-перестраиваемые осветительные приборы со светодиодами: опыт разработки и применения // Светотехника. 2013. № 5–6. С. 34–39.
- [2] Гутцайт Э.М. и др. К моделированию стандартных источников света светодиодными модулями // Светотехника. 2013. № 4. С. 61–66.
- [3] Finlayson G. et al. On calculating metamer sets for spectrally tunable LED illuminators // J. Opt. Soc. Am. A. 2014. Vol. 31, № 7. P. 1577.
- [4] Gu H. et al. Assessing the Quality of Two LED Based CIE Illuminant Simulators // Color and Imaging Conference. 2015. Vol. 2015. P. 235–238.
- [5] Арапова С.П. и др. Автоматизированный просмотровый комплекс для исследований цветопередачи при RGB-светодиодном освещении // Известия высших учебных заведений. Проблемы полиграфии и издательского дела. 2016. № 6. С. 3–11.
- [6] Арапов С.Ю., Арапова С.П., Тягунов А.Г. Гибридный лабораторный источник света для полиграфии, спектрально близкий к стандартным излучателям «D» // Светотехника. № 2. С. 24–28.